

低周波電磁波共鳴加熱による電子サイクロトロン共鳴 多価イオンビーム生成の高効率化

Producing Highly Efficient Multicharged Ion Beams by ICR/LHR Heating on ECRIS

阪大院工, °針崎修平, 久保渉, 津田知輝, 大和田一誠, 佐藤滉一, 加藤裕史

Osaka Univ., °Shuhei Harisaki, Wataru Kubo, Issei Owada, Koichi Sato, Kazuki Tsuda, Yushi Kato

E-mail: harisaki@nf.eie.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】本研究グループでは, 従来の 2.45GHz 電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance: ECR)加熱に対し, より高周波数(4~6GHz)の電磁波導入による高域混成周波数共鳴(Upper Hybrid Resonance: UHR)加熱実験を行い, 多価イオンビーム生成の高効率化に対する成果を挙げている[1]. 他方, ガス混合時の 2.45GHz マイクロ波パルス化実験結果[2]と, 磁化プラズマ中における電磁波伝搬とその特性に対する考察から, イオンサイクロトロン共鳴(Ion Cyclotron Resonance: ICR)や低域混成周波数共鳴(Lower Hybrid Resonance: LHR)といった ECR よりも低周波数帯域での共鳴現象による, さらなる高密度なプラズマ生成の可能性に対する着想を得た. 本講演では, ガス混合プラズマを対象に上記の低周波数加熱実験を行った結果を報告する.

【実験方法】Fig.1(a)に本グループの ECR イオン源(Electron Cyclotron Resonance Ion Source: ECRIS)を示す. チャンバーの中心を原点とし, 中心軸方向を z 軸ととる. 磁場の形状はミラーコイルおよび八極磁石により行われる. 主に使用するガスは He, Ar, Xe であり, これらを動作ガスとしてチャンバー上流側から導入する. 上記のガス種に対して, 本装置の磁場強度における ICR の周波数帯域は数十 kHz~数 MHz となる. そのため, 周波数 30~50kHz の電磁波を用いて, Ar^+ への選択的な ICR 加熱実験を行った. 低周波用アンテナには, 2.5 ターンの磁場方向に対して左回りのコイル(ICR コイル)を使用し, チャンバー上流側のミラー端から挿入する(Fig.1(b)). ICR コイルはフィードスルーによって $z=-220\text{mm}\sim-170\text{mm}$ の間を移動可能である. プラズマ生成に用いる 2.45GHz のマイクロ波はサイドポート上面($z=175\text{mm}$)のロッドアンテナで y 軸に沿う方向から導入される. 10kV で引き出したビームを分析磁石によって質量/価数(m/q)電荷分離し, ファラデーカップで捕集することで価数分布(Charge State Distribution: CSD)を取得できる. 本実験ではガス混合プラズマを生成後, ICR コイルから 30~50kHz の電磁波を給電する. 2.45GHz マイクロ波の入射電力は 150W 固定であり, 30~50kHz 電磁波の入射電力は 50~300W 程度である. 給電前後に CSD を取得することで, 低周波数電磁波導入の Xe^{7+} 電流に対する影響を観測する.

【実験結果と今後の予定】Xe-Ar ガス混合時に 30~50kHz の電磁波を給電することにより, Xe^{7+} のビーム電流量が増加した. さらに, 低周波数電磁波の入射電力を増加するにつれ, Xe の平均価数が上昇することを確認した. Fig.2 にその結果を示す. 上記の結果を踏まえ, 今後は 13.56MHz の電磁波を使用した LHR 加熱実験を行う. さらに, プローブ測定やエミッタンス測定によって, 本手法の電子温度, イオン温度への寄与を評価する. 本講演では, ECRIS においてこれまで適用例のないこれらの能動的な低周波数電磁波導入による ICR/LHR 加熱実験の詳細について述べる予定である.

[1]Y. Kato, et. al, Rev. Sci. Instrum. **91**, 013315(2020) [2]S. Harisaki, et. al, Proc. of the 24th International Workshop on ECRIS(2020)

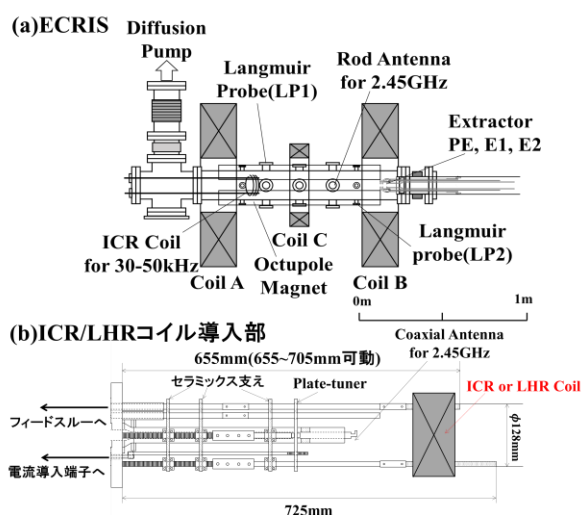


Fig1. (a)ECRIS と(b)ICR/LHR コイル導入部

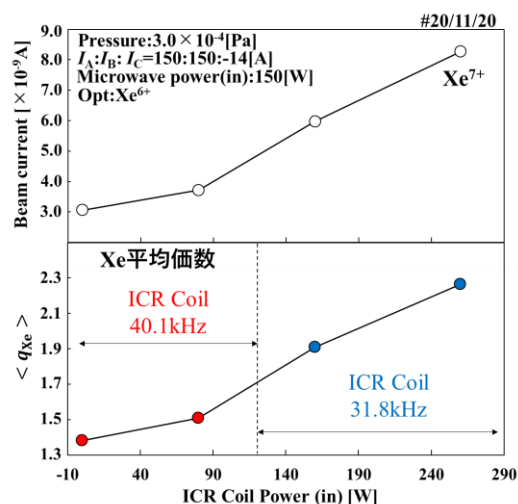


Fig2. ICR コイル入射パワー依存性